

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

OH-682A

Prior Art 3

(11)Publication number : 2003-004926

(43)Date of publication of application : 08.01.2003

(51)Int.Cl.

G02B 5/18

G02B 6/10

G02B 6/16

(21)Application number : 2001-194462

(71)Applicant : JAPAN SCIENCE &amp; TECHNOLOGY CORP

(22)Date of filing : 27.06.2001

(72)Inventor : YAMASHITA SHINJI  
NASU YUUKAI

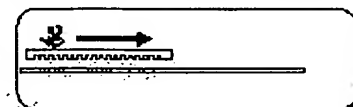
## (54) MANUFACTURING METHOD AND MANUFACTURING APPARATUS FOR OPTICAL FIBER GRATING

## (57)Abstract:

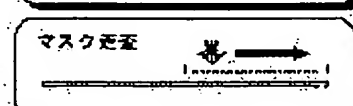
PROBLEM TO BE SOLVED: To manufacture a superstructure fiber Bragg grating without restricting by a phase mask length.

SOLUTION: First, a mask and an optical fiber are fixed in their relative positions and are scanned with a beam (step 1). Next, the relative positions of the mask and the optical fiber are moved relative to the longitudinal direction of the optical fiber (step 2). The mask and the optical fiber are fixed in their relative positions and are scanned with the beam in the same manner as in the step 1. Next, the mask is removed and a uniform UV beam is cast to the optical fiber in order to correct and match the deviation of the phase, by which the refractive index can be uniformly changed and the optical length of this segment is changed, by which a phase shift is imparted to the optical fiber (step 3). The position where the fiber is given the phase shift may be other suitable place between both fixed positions. The phase shift quantity is determined by the irradiation time of the UV beam (or the number of light pulses) and whether the necessary phase shift quantity can be achieved or not is determined while reflection spectra are observed. The SSFBG of a free length can be formed by repeating the steps described above.

ステップ1



ステップ2



ステップ3



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

27.06.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-4926

(P2003-4926A)

(43) 公開日 平成15年1月8日 (2003.1.8)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード <sup>*</sup> (参考)	
G 0 2 B	5/18	G 0 2 B	5/18	2 H 0 4 9
	6/10		6/10	C 2 H 0 5 0
	6/16		6/16	

審査請求 有 請求項の数 11 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2001-194462 (P2001-194462)

(22) 出願日 平成13年6月27日 (2001.6.27)

(71) 出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72) 発明者 山下 真司

東京都板橋区南町52-7

(72) 発明者 那須 悠介

東京都豊島区駒込1-25-9 スタンレー  
コーポ101

(74) 代理人 100107010

弁理士 橋爪 健

Fターム (参考) 2H049 AA06 AA33 AA45 AA59 AA61

AA62

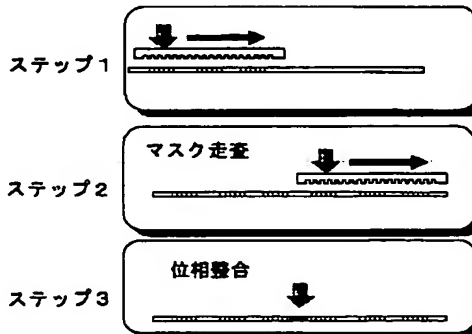
2H050 AA01 AB05X AC84 AD00

(54) 【発明の名称】 光ファイバグレーティングの作製方法及び作製装置

(57) 【要約】

【課題】 位相マスク長により制限されずにスーパーストラクチャー・ファイバー・ブラッグ・グレーティングを作製する。

【解決手段】 まず、マスクと光ファイバーの相対位置を固定してビームを走査する (ステップ1)。次に、マスクと光ファイバーの相対位置を光ファイバーの長さ方向に対して動かす (ステップ2)。そして、ステップ1と同じようにマスクと光ファイバーの相対位置を固定してビームを走査する。次に、位相ずれを補正・整合するために、マスクをはずし、光ファイバーに一樣な紫外光ビームを当てることにより、一樣に屈折率を変えることができ、その部分の光学長を変化させ位相シフトを与える (ステップ3)。位相シフトを与える位置は、両固定間の他適当な場所でもよい。位相シフト量は紫外光ビーム照射時間 (あるいは光パルス数) で決まり、必要な位相シフト量が達成できたかどうかは反射スペクトラムを観察しながら決める。以上のステップを繰り返すことにより、自由な長さのSSFBGが作成できる。



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 グレーティングが形成された位相マスクと光ファイバーの相対位置を第1の位置に固定する工程と、

第1の位置において、レーザからの紫外光により位相マスクを介して所定のグレーティング幅の干渉光を形成し、その干渉光を光ファイバーに1箇所又は所定のグレーティング間隔で複数箇所照射することにより、ひとつ又は複数の第1の光ファイバークレーティングを形成する工程と、

位相マスク及び／又は光ファイバーを光ファイバーの長さ方向に移動させて、位相マスクと光ファイバーとの相対位置を第2の位置に固定する工程と、

第2の位置において、レーザからの紫外光により位相マスクを介して所定のグレーティング幅の干渉光を形成し、その干渉光を光ファイバーに1箇所又は所定のグレーティング間隔で複数箇所照射することにより、ひとつ又は複数の第2の光ファイバークレーティングを形成する工程と、

位相シフトを調整するために、第1の光ファイバークレーティングと第2の光ファイバークレーティングとの間において、位相マスクを介さずにレーザからの紫外光を光ファイバーに照射することにより、位相をシフトする領域を形成する工程とを含む光ファイバークレーティングの作製方法。

【請求項2】 隣接する光ファイバークレーティングの間に、必要とされる位相シフトを調整するために、位相マスクを介さずにレーザからの紫外光を光ファイバーに照射することにより、位相をシフトする領域を形成する工程をさらに含む請求項1に記載の光ファイバークレーティングの作製方法。

【請求項3】 スーパーストラクチャ光ファイバークレーティングの全長又はチャネル間隔を  $1/m$  ( $m=2, 3, \dots$ ) にする場合、 $k$  番目と  $k+1$  番目の光ファイバークレーティングの間に、次式の位相シフト  $\phi_k$  を与えることを特徴とする請求項2に記載の光ファイバークレーティングの作製方法。

$$\phi_k = 2\pi(k-1)/m$$

(ここで、 $0 \leq k \leq N_{\text{FBG}}$ 、 $N_{\text{FBG}}$  は光ファイバークレーティングの数、ただし、 $\phi_k$  は  $2\pi$  で折り返される)

【請求項4】 第1及び第2の光ファイバークレーティングは、光ファイバークラッググレーティングであり、スーパーストラクチャ光ファイバークラッググレーティングの全長により反射特性の包絡線幅を設定し、その間隔によりチャネル間隔を設定することを特徴とする請求項1に記載の光ファイバークレーティングの作製方法。

【請求項5】 光ファイバーは、高ゲルマニウムドーブ及び／又は水素処理した光ファイバーであることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバークレーティングの作

製方法。

【請求項6】 グレーティング周期の変化するグレーティングを有する位相マスクを用いることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバークレーティングの作製方法。

【請求項7】 紫外光を照射するレーザと、前記レーザからの紫外光の幅を調整するスリットと、グレーティングが形成された位相マスクと、光ファイバーと前記位相マスクとの相対位置を第1の位置および第2の位置にそれぞれ固定するための稼動部と、

前記レーザからの紫外光により前記スリット及び位相マスクを介して所定のグレーティング幅の干渉光を形成し、その干渉光を光ファイバーに1箇所又は所定のグレーティング間隔で複数箇所照射するための照射調整部とを備えた光ファイバークレーティングの作製装置。

【請求項8】 前記稼動部及び前記レーザ及び前記照射調整部を制御する制御部をさらに備え、

前記制御部は、

前記稼動部を制御することにより、前記位相マスクと光ファイバーの相対位置を第1の位置に固定するための手段と、

前記レーザ、前記スリット及び前記照射調整部を制御することにより、第1の位置において、前記レーザからの紫外光により前記位相マスクを介して所定のグレーティング幅の干渉光を形成し、その干渉光を光ファイバーに1箇所又は所定のグレーティング間隔で複数箇所照射することにより、ひとつ又は複数の第1の光ファイバークレーティングを形成するための手段と、

前記稼動部を制御することにより、前記位相マスク及び／又は光ファイバーを光ファイバーの長さ方向に移動させて、位相マスクと光ファイバーとの相対位置を第2の位置に固定するための手段と、

前記レーザ、前記スリット及び前記照射調整部を制御することにより、第2の位置において、前記レーザからの紫外光により前記位相マスクを介して所定のグレーティング幅の干渉光を形成し、その干渉光を光ファイバーに1箇所又は所定のグレーティング間隔で複数箇所照射することにより、ひとつ又は複数の第2の光ファイバークレーティングを形成するための手段と、

前記レーザ、前記スリット、前記照射調整部及び前記稼動部を制御することにより、位相シフトを調整するために、第1の光ファイバークレーティングと第2の光ファイバークレーティングとの間において、前記位相マスクを介さずに前記レーザからの紫外光を光ファイバーに照射することにより、位相をシフトする領域を形成するための手段とを備えた請求項7に記載の光ファイバークレーティングの作製装置。

【請求項9】 光ファイバーの光スペクトルを測定するアナライザをさらに備え、

前記制御部は、前記アナライザからの測定出力に基づい

て、所望の位相シフト量が達成されるように前記レーザによる照射出力を制御することを特徴とする請求項7又は8に記載の光ファイバグレーティングの作製装置。

【請求項10】前記移動部は、光ファイバーを固定してその位置を移動するための第1移動ステージと、前記位相マスクを固定してその位置を移動するための第2移動ステージとを備えた請求項7に記載の光ファイバグレーティングの作製装置。

【請求項11】前記位相マスクはグレーティング周期の変化するグレーティングを有することを特徴とする請求項7又は8に記載の光ファイバグレーティングの作製装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバグレーティングの作製方法及び作製装置に係り特に、スーパーストラクチャ光ファイバブラッググレーティングの作製方法及び作製装置に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】1970年代における低損失光ファイバーの登場と同時期に半導体レーザの常温発振が可能となって以来、光を用いた様々な研究が世界中で活発となった。特に光通信分野は光アンプ(EDFA)の登場により急速に発展し、現在では超長距離伝送(～10,000km)、超高速伝送(～40Gb/s)、波長多重伝送(WDM、～256波長)等の伝送システムの実現が可能となっている。そのため、光ファイバー情報通信ネットワークは21世紀初頭の最重要な社会基盤(インフラストラクチャ)であると考えられている。しかしながら、現在のところ、光ファイバー通信システムは、主に1対1の基幹線系にのみ用いられており、ネットワーク部分は従来の同軸ケーブルと半導体集積回路・電子デバイスが主役である。近年のインターネットの爆発的な発展により、今後のネットワークに求められる伝送容量の伸びは12ヶ月で2倍と予測されている。これは半導体集積回路に関するいわゆるムーアの法則(18ヶ月で2倍)を上回っているという状況であり、例えば、ネットワーク部分も光を用いるWDM光ネットワークがやがては必要とされることは間違いないであろう。しかしながら、現状ではWDM光ネットワークのための光デバイスがまだまだ未熟であり、これらの光デバイスの開発が急務である。

##### 【0003】

【発明が解決しようとする課題】このようなWDM技術においては、例えば、光フィルタが必須のデバイスとなってくる。このWDM光通信用光フィルタとして、光ファイバブラッググレーティング(FBG)の一種であるスーパーストラクチャー・ファイバー・ブラッグ・グレーティング(Super Structure FBG)が注目されている。ここで、FBG(Fiber Bragg Grating 光ファイバ

一回折格子(グレーティング))とは、光ファイバーのコア部分に波長オーダー(～1ミクロン)周期の屈折率変化を与えたもので、鋭い波長選択反射特性をもつデバイスである。屈折率変化は、紫外光を光ファイバーの外側から照射することにより非破壊的に得られ、また波長オーダー周期構造は、位相マスクなどを紫外光を照射する際に介在させると、その位相マスクで形成される干渉縞により得られる。FBGは、他の光フィルタに比べ柔軟な設計が可能であるため、回折格子の工夫により従来にはない機能をもった光フィルタの作成が可能である。屈折率が変化した回折格子を直接光ファイバー中に形成するため、低損失、小型、高信頼性、ファイバーを基本とした光システムとの親和性など、多くの利点がある。FBGの鋭い波長選択反射特性は、光通信の分野では波長多重(WDM)光ファイバー通信技術に欠かせないものとして利用される。また、FBGの反射波長は歪・温度依存性をもつため、光計測の分野ではこれらの多点型高分解能センサとして利用される。

【0004】また、SSFBG(Super Structure FBG)とは、Sampled FBGとも呼ばれ、同じ周期の短いFBGを等間隔で並べたデバイスである。SSFBGは、FBGの波長オーダー周期構造の上に数mm程度の周期構造(＝サンプリング構造)が乗置された構造になっている。SSFBGは、サンプリング構造の周期で決まる等間隔の鋭い波長選択反射特性をもつ、くし(コム)型反射光フィルタである。SSFBGは、WDM通信で用いられる多波長の光を一括してフィルタリングできるため、波長多重(WDM)光ファイバー通信に適し、WDMシステムの低価格化や簡易化が期待できる。

【0005】しかし、理論上提案されているFBGの内いくつかは、その作製技術の限界のため、容易に作製できないものもある。その作製限界のうちの一つは、長いFBGの作製が困難であるというものである。スーパーストラクチャー・ファイバー・ブラッグ・グレーティング(SSFBG)はその一例であり、このSSFBGを大容量化するWDM光通信に合わせて広帯域化・高密度化するためには、全長が数センチから数十センチという長いSSFBG長が必要となるが、従来の方法ではSSFBG長は位相マスク長により制限されるため、その作製が困難である。

【0006】本発明は、以上の点に鑑み、位相マスク長により制限されないスーパーストラクチャー・ファイバー・ブラッグ・グレーティング作製方法及び作製装置を提供することを目的とする。

##### 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の解決手段によると、グレーティングが形成された位相マスクと光ファイバーの相対位置を第1の位置に固定する工程と、第1の位置において、レーザからの紫外光により位相マスクを介して所定のグレーティング幅の干渉光を形成

し、その干渉光を光ファイバーに1箇所又は所定のグレーティング間隔で複数箇所に照射することにより、ひとつ又は複数の第1の光ファイバーグレーティングを形成する工程と、位相マスク及び／又は光ファイバーを光ファイバーの長さ方向に移動させて、位相マスクと光ファイバーとの相対位置を第2の位置に固定する工程と、

【0008】第2の位置において、レーザからの紫外光により位相マスクを介して所定のグレーティング幅の干渉光を形成し、その干渉光を光ファイバーに1箇所又は所定のグレーティング間隔で複数箇所に照射することにより、ひとつ又は複数の第2の光ファイバーグレーティングを形成する工程と、位相シフトを調整するために、第1の光ファイバーグレーティングと第2の光ファイバーグレーティングとの間において、位相マスクを介さずにレーザからの紫外光を光ファイバーに照射することにより、位相をシフトする領域を形成する工程とを含む光ファイバーグレーティングの作製方法が提供される。

【0009】本発明の第2の解決手段によると、紫外光を照射するレーザと、前記レーザからの紫外光の幅を調整するスリットと、グレーティングが形成された位相マスクと、光ファイバーと前記位相マスクとの相対位置を第1の位置および第2の位置にそれぞれ固定するための移動部と、前記レーザからの紫外光により前記スリット及び位相マスクを介して所定のグレーティング幅の干渉光を形成し、その干渉光を光ファイバーに1箇所又は所定のグレーティング間隔で複数箇所に照射するための照射調整部とを備えた光ファイバーグレーティングの作製装置が提供される。

【0010】

【発明の実施の形態】 1. FBGの作成

FBGは、ファイバーのコア中に例えば約500[nm]の周期を持つ振動を形成する必要がある。これを実現するための、位相マスク法(Phase-Mask Method)とフォトセンシビティ(photo-sensitivity)についてを以下に説明する。図1に、位相マスク法によるFBGの作製についての説明図を示す。レーザからの紫外光101、伝送マスク102、光ファイバー103が図示されている。なお、以下の材料及び各データは、一例を示すものであり、これに限定されない。振動の種類としては、屈折率の変化を用いる。ゲルマニウムドーピング(Ge-doped)光ファイバーは紫外線を照射すると屈折率が変わるという非線形な性質を持つ。これは、フォトセンシビティと呼ばれ、FBGはこの非線形現象を用いて作製される。このフォトセンシビティを最大限に引き出す為に、光ファイバー102を、例えば、120[atm]の水素雰囲気中に2週間ほど留置する。ここでは、この水素処理を行ったGe-doped光ファイバーを用いる。

【0011】例えば、500[nm]の所定周期をもつ紫外線の強度分布は、位相マスク法によって実現でき

る。位相マスク法では図に示すように、石英基板にピッチdの凹凸を電子ビーム・リソグラフィーにより形成した位相マスク102が用いられる。位相マスク102に垂直に入射された紫外光101(UV光)は、位相マスク102を通過すると+1次と-1次の回折光に分離され、それらが干渉縞(間隔d/2)を形成する。溝の深さと形状が適当であれば、0次光(そのまま透過する光)は数%以下になる。

【0012】位相マスク法の利点は同一のものを再現性よく製作でき、また時間コヒーレンスの低いレーザでも使用できることである。また、位相マスク法は、他の方法よりアライメントが比較的容易で、本実施の形態で一例として用いるKrFエキシマレーザに現状では最適な方法であると考えられる。

【0013】2. 詳細な作製系

図2に、SSFBGの作製系の構成図を示す。この構成は、レーザ1、スリット2、位相マスク3、移動ステージ4、光スペクトラムアナライザ5、EDFA6、サーキュレータ7を備える。光ファイバー10は、移動ステージ4上に位相マスク3で覆われて固定される。

【0014】レーザ1は、ファイバーの屈折率を変化させる為に用いる紫外光源として、高いパワー密度と高い干渉性が望まれる。ここでは、一例として、紫外光パルスが発生するKrFエキシマレーザを用いる。なお、KrFエキシマレーザ以外には、ArFエキシマレーザ、アルゴンレーザのSHG(2倍高調波)、銅蒸気レーザなどが用いられてもよい。エキシマレーザ、銅蒸気はパルスレーザであるが、アルゴンレーザのSHGは連続発振レーザであり、いずれを用いても良い。本実施の形態で用いたKrFエキシマレーザは、一例として、波長248nm、パルスの繰り返し周波数100kHz、1パルスあたりのエネルギー約55mJ、ビーム径6×12mmである。

【0015】また、スリット2は、一例として、12mm幅の紫外光をスリットで0.3mmに狭窄し、位相マスクを通して光ファイバーに照射する。位相マスク3は、たとえば、ガラスに0.5ミクロン程度のピッチで回折格子が描かれている。ファイバー10は、次のような光ファイバーを用いることができる。例えば、ファイバー10は、紫外光誘起屈折率変化が大きなファイバーが好ましい。通常の光ファイバーではこの変化は小さいので、水素処理(高圧水素中に1~2週間留置して水素をロード)して高めることができる。また、光ファイバーのコア中のGe(ゲルマニウム)ドーピング量が大いほど紫外光誘起屈折率変化が大きいことが知られているので、FBG用の高Geドーピング光ファイバーを用いることができる。本実施の形態では、FBG用の高Geドーピング光ファイバーを水素処理したものを用いている。その他にファイバー10として、分散シフトファイバー(DSF)、シングルモードファイバー(SMF)、マルチモ

ードファイバー等、各種のファイバーを用いることができる。

【0016】図3に、伝送マスクと光ファイバーとの固定についての説明図を示す。この例では、位相マスク3と光ファイバー10は同じプレート8上に固定され、相対的な振動を抑圧する。このプレート8を稼働ステージ4上に固定し、稼働ステージ4の移動量とパルス数を制御することで、FBG、SSFBGなどを作製する。

【0017】紫外光の照射の仕方は次のように成る。位相マスク3に一樣な紫外光を垂直に当てると、位相マスク3による+1次と-1次の回折光どうしが光ファイバー上に1ミクロン程度の干渉縞を作る。紫外光誘起屈折率変化により、干渉縞の強いところでは大きな屈折率変化が、干渉縞の弱いところでは小さな屈折率変化が起こり、1ミクロン程度の屈折率の周期構造（屈折率回折格子）ができる。

【0018】以上のように、位相マスク3にレーザ1からの平行光を入射することにより、より鮮明な干渉縞が得られる。紫外光又は紫外線パルス照射するにしたがって、光ファイバー10中のコアにグレーティングが形成される。作製中、広帯域光源であるEDFA6のASEを光ファイバー10に入射し、その反射光をサーキュレータ7を経て光スペクトラルアナライザ5に入射することにより、反射スペクトルを監視する。これにより、レーザ光の照射を調整させることができる。

### 【0019】3. 位相マスク走査法

まず、SSFBGの基本原理解を説明する。図4に、SSFBGの概念図を示す。図に示すように、SSFBGは、離散的にFBGが形成されることで、作製される。図4(a)には、伝送マスク3を介して紫外光が光ファイバー10に複数箇所照射される様子を示す。ここで、矢印は紫外光ビームを表す。複数の紫外光ビームが矢印で表されているが、本実験では一度に複数のビームで照射するのではなく、1本の紫外光ビーム（もしくは伝送マスク3と光ファイバー10）を移動させて必要な部分だけにFBGを描く。なお、複数箇所に一度に紫外光ビームを照射する光学系配置としてもよい。レーザ光は、スリットにより必要な部分だけ（例えば、約1mm）切り出してから位相マスク3に照射される。

【0020】図4(b)は、光ファイバー10の位置Zにおける屈折率 $n$ を示される。ここで、 $L_g$ はFBG幅、 $L_s$ はFBG間隔である。また、図中屈折率 $n$ がギザギザで表示されている箇所は、光ファイバー10中にFBGが刻まれているところである。

【0021】図5に、SSFBGの特性図を示す。図には、屈折率 $n$ と、波長 $\lambda$ の関係を示す。ここで、 $\nu_B$ は $1/L_g$ に比例する包絡線幅、 $\nu_c$ は $1/L_s$ に比例するチャンネル間隔である。こうして、図に示すようにくし（コム）型の反射フィルタが形成される。このくし状反射スペクトルの包絡線幅 $\nu_B$ は離散的に作製されたFB

Gの長さに反比例し、また、チャンネル間隔 $\nu_c$ は作製されたFBGの間隔 $L_s$ に反比例する。そのため、より狭いチャンネル間隔を得るためにはより大きな間隔でFBGを離散的に作製する必要がある。なお、FBGの個数はひとつでもよく、また、個数が多いほど反射率が高くなる。反射率が1に達すると、包絡線幅が広がる。ここで、このくし状の反射スペクトルの一本をチャンネルと呼ぶ。

【0022】たとえば、全長50mmで、反射率100%、チャンネル間隔100GHzのスーパーストラクチャが得られるとする。このときチャンネル間隔50GHzを得ようとする、グレーティング間隔を2倍にする必要があり、全長を100mmにしなければならない。同様、チャンネル間隔を33.3GHzにすると、全長が150mmになってしまう。

【0023】このように、SSFBGは離散的にFBGを刻むものである。これらのFBGはその屈折率変調に一定の位相関係を持たなければならないため、1つの固定した位相マスクに紫外光を離散的に照射することで実現する。したがって、SSFBGの全長は位相マスクの長さにより制限される。つぎに、位相マスクの長さに制限されないSSFBG作製法として、位相マスク走査法を説明する。

【0024】図6に、位相マスクの走査によるSSFBG作製法の説明図を示す。また、図7に、SSFBGの特性図を示す。以下に、マスク走査の具体的工程を説明する。上述ではマスクと光ファイバーの相対位置を固定して、ビームを走査しているの、マスクの長さ以上のSSFBGは描けない。そこで、まず図4と同様に、マスクと光ファイバーの相対位置を固定してビームを走査する（ステップ1）。この場合のSSFBGの特性図を図7(a)に示す。その次に、マスクと光ファイバーの相対位置を光ファイバーの長さ方向に対して動かす（ステップ2）。そして、ステップ1と同じようにマスクと光ファイバーの相対位置を固定してビームを走査する。走査するための構成は、例えば、マスクと光ファイバーをそれぞれ別の稼働ステージに固定して、PC制御で別々に動かすことで実現できる。次に、位相ずれを補正・整合するために、マスクをはずし、光ファイバーに一樣な紫外光ビームを当てることにより、一樣に屈折率を変えることができ、その部分の光学長を変化させ位相シフトを与える（ステップ3）。位相シフトを与える位置は、第1のSSFBGと第2のSSFBGの間の適当な場所でもよい。位相シフト量は紫外光ビーム照射時間（あるいは光パルス数）で決まり、必要な位相シフト量が達成できたかどうかは反射スペクトラムを観察しながら決める。以上のステップを繰り返すことにより、自由な長さのSSFBGが作成できる。図7(b)に示すように、もともとのSSFBGの反射率が1に近い場合、ステップ3の工程後は、包絡線幅が広がる。

【0025】この位相マスク走査法について検証を行った。UV光源としてKrFエキシマレーザ(248nm)を用い、位相マスクのピッチは1074nmで $L_g = 0.3\text{mm}$ 、 $L_s = 3.0\text{mm}$ のSSFBGを作製した。図8に、位相整合のための紫外光照射前と後の反射スペクトル図を示す。図8(a)のように、整合を取る前、つまり単純に位相マスクを走査することにより2つのSSFBGを結合した場合、2つのSSFBGが干渉しあうため反射ピークが分裂する。そこで、その後位相整合をとると、図8(b)のように理想的なくし型フィルタが実現できることがわかる。また、位相調整をする前は反射帯域外の余分なサイドローブが大きく生じていたものが、位相調整により抑圧できている。したがって、位相マスクを走査することにより、2倍の長さの位相マスクにより作製したSSFBGと同じ特性を持つSSFBGが作製できる。

【0026】つぎに、図9に、SSFBGの反射スペクトル図を示す。図9(a)は、従来法により作製した長さ30mmのSSFBG、図9(b)は、走査位相マスク法により図9(a)のSSFBGを3つ結合して長さ90mmにしたSSFBGの反射スペクトル図である。図示のように、結合後もきれいななくし型フィルタになっていることがわかる。このように、もともとのSSFBGの反射率が小さい場合、包絡線幅は変わらず反射率が高くなる。

【0027】4. チャープトーSSFBG(Chirped-SSFBG)

上述の実施の形態では、屈折率の変調周期が同じFBGを離散的に作製した通常のSSFBGを作製したが、この位相マスク走査法を用いれば様々なSSFBGが作製できる。たとえば、Chirped-SSFBGなどは特に容易に作製できる。Chirped-SSFBGとは、屈折率の変調周波数を少しずつ変化させたFBGを離散的に作製したものである。この変化させる周波数自体に周期性を持たせ、広帯域なくし型反射光フィルタを実現することができる。また、このChirped-SSFBGは、光ファイバーの分散補償器に応用することができる。

【0028】つぎに、従来の位相マスク固定法によるChirped-SSFBGの作製手順と、今回提案する位相マスク走査法による作製手順を比較する。図10に、Chirped-SSFBGの作製方法の説明図を示す。図10(a)は、従来の位相マスク固定法によるChirped-SSFBG作製方法、図10(b)は、本実施の形態の走査位相マスク法によるChirped-SSFBG作製方法である。複数の矢印は、紫外光ビームを出力し、一度に複数のビームで照射するのではなく、1本の紫外光ビームを移動させて必要な部分だけにFBGを描くようにしている。なお、同時に複数ビームを照射してもよい。位相マスクは、グレーティング周期の変化するものを用いる。

【0029】従来の位相マスク固定法では、作製するChirped-SSFBGと同じ長さの位相マスクが必要であり、図10(a)のように回折格子の周期が周期的に変化した位相マスクを作製する必要がある。これに対して本実施の形態によれば、短い(例えば、全長の数分の1)長さの位相マスクがあればよく、単純なChirped-FBG用の位相マスク1つで十分である。そして、短い位相マスクで複数の紫外光を照射した後、それを横にずらして再び照射する。この実施の形態は、上述の実施の形態と同様であるが、描いているSSFBGが異なる。また、上述と同様に、位相マスクの複数位置における位相整合のための一様な紫外光の照射が必要である。

【0030】通常のSSFBGや、Chirped-SSFBGなどを作製するために必要な長い位相マスクは、その作製段階において溝(回折格子)の周期性に多少なりとも誤差が生じる。これは、現時点での位相マスクの作製技術の限界(スティッチング・エラー)によるものである。この誤差によりSSFBGの設計性は悪化する。しかし、本実施の形態は短い位相マスクを用いるため、ほとんど溝(回折格子)の周期性に誤差のない位相マスクでSSFBGの作製が可能である。この点においても、位相マスク走査法は、有効なSSFBG作製方法である。

【0031】5. 多点位相シフト法

次に、多点型位相シフト(MPS-SSFBG = Multiple phase shift SSFBG)法によるSSFBG(MPS-SSFBG)について説明する。MPS-SSFBGは、通常のSSFBGと同じく反射なくし型フィルタであるが、従来のSSFBGに比べてより短い長さで同じ特性を実現できるという画期的な方法である。SSFBGは離散的にFBGを作製して作られるため、チャネル間隔の狭い高密度なSSFBGでは各々のFBGの間隔が長くなり、この部分が無駄になる。そこで、本実施の形態のMPS法ではFBG間に適切な位相シフトを与えることで、FBG間隔を短く保ったままチャネル間隔を高密度化できる方法であり、効率よく光ファイバーを用いることができる。

【0032】上述のように、くし状反射スペクトルの包絡線幅は離散的に作製されたFBGの長さに反比例し、チャネル間隔は作製したFBGの間隔に反比例する。より狭いチャネル間隔を得るためにはより大きな間隔でFBGを離散的に作製する必要がある。たとえば、全長50mmで、反射率100%、チャネル間隔100GHzのスーパーストラクチャが得られるとする。このときチャネル間隔50GHzを得ようとする、グレーティング間隔、即ちFBG間隔を2倍にする必要があり、全長を100mmにしなければならない。同様に、チャネル間隔を33.3GHzにすると、全長が150mmになってしまう。

【0033】それに比べて、本実施の形態のMPS-SSFBGは、通常のSSFBGの適切な場所に位相シフトを与えたもので、これは全体の反射率をあまり下げる



ことなく、またSSFBGの全長も維持したままチャンネル間隔を狭く高密度化できる方法である。つまり、チャンネル間隔を100GHz、50GHz、33.3GHzと狭めても、全長は変わらない。

【0034】以下に、MPS-SSFBGの設計手順を説明する。はじめに、得たいチャンネル間隔や帯域などから、上述のような実施の形態のSSFBG設計を行う。このとき、各々のFBG間隔 $L_g$ 、FBG長 $L_s$ 、FBGの個数 $N_{FBG}$ 個、SSFBGの全長 $L_{SSFBG}$  ( $=L_g \times N_{FBG}$ )のSSFBGが作製されたとする。通常のSSFBGは各々のFBGの間が有効に利用されていないため、必然的に全長が長くなってしまふ。したがって、このようなFBGの間に新たにFBGを集積してMPS-SSFBGを実現し全長を $1/m$  ( $m=2, 3, \dots$ ) にするために必要な手順を以下に述べる。

【0035】まず、先の設計で得たFBG間隔 $L_g$ を $1/m$ に短縮し、 $N_{FBG}$ 個のFBGを離散的に作製することで全長を $1/m$ にする。このままでは、チャンネル間隔は $m$ 倍に拡大する。そこで、 $k$ 番目のFBGと $k+1$ 番目のFBGの間に、次式の位相シフト $\phi_k$ を与える。  

$$\phi_k = 2\pi(k-1)/m$$

$$(0 \leq k \leq N_{FBG})$$

【0036】一様な紫外光ビームを光ファイバーの一部に照射すると、その部分の屈折率が一様に変わるので、その部分の光学長 $nL$ が変化し、位相シフトが起こる。ここで、位相シフトとは、その部分での光の位相回転が変化(シフト)することをいう。 $0, 2\pi/3, 4\pi/3$ 等のそれぞれ必要な位相シフト量が達成できたかどうかは、光スペクトラムアナライザを用いて反射スペクトラムを観察しながら決める。

【0037】ここで、図11に、MPS-SSFBGにおける光ファイバー軸方向の屈折率と位相シフトの説明図を示す。上式により、図示のような鋸状の位相シフト量を与えられる。与えられる位相シフト量が $2\pi$ を越えたと折り返すことができる。これにより、チャンネル間隔を設計通りに保ち、反射率もほぼ保ったまま、全長を $1/m$ にできる。

【0038】つぎに、図12に、SSFBGとMPS-SSFBGとの比較に関する説明図を示す。この図は、 $m=2, 3$ としたときのMPS-SSFBGとSSFBGを比較したものである。図12中、右図は波長に対する反射率、中図は、通常又は上述の実施の形態により作製されたSSFBG、左図は、多点型位相シフト技術によるSSFBGをそれぞれ示す。

【0039】図12(a)は、SSFBGの元の長さで、位相シフトを与えていない場合を示す。図12(b)は、FBG間隔を2倍( $m=2$ )をした場合を示す。このとき、チャンネル間隔は $1/2$  ( $1/m$ )になる。通常又は上述のSSFBG作製法によると、全長が

2倍となるが、MPS-SSFBGでは、各FBG間に $0, \pi, \dots$ の位相シフトを与えることで、同じ全長のままチャンネル間隔を $1/2$  ( $1/m$ )とすることができる。同様に、図12(c)は、FBG間隔を3倍( $m=3$ )とした場合を示す。このとき、チャンネル間隔は $1/3$  ( $1/m$ )になる。各FBG間に $0, 2\pi/3, 4\pi/3, \dots$ の位相シフトを与えることで、同じ全長のままチャンネル間隔を $1/3$  ( $1/m$ )とすることができる。

【0040】このMPS-SSFBGの検証を行った。UV光源としてKrFエキシマレーザ(248nm)を用い、位相マスク固定法によりMPS-SSFBGの作製を行った。今回作製したMPS-SSFBGは $m=2$ 、 $L_g=0.3$  [mm]、 $L_s=3.0$  [mm]、 $N_{FBG}=15$ であり、位相マスクのピッチは1074 [nm]である。

【0041】図13に、MPS-SSFBGの作製( $m=2$ )の説明図を示す。これは、図12(b)に対応する場合である。まず、通常のSSFBGの作製方法に従って作製した、位相シフトを与える前のSSFBGの反射スペクトルを図13(a-1, 2)に示す。図13(a, b, c-2)は、図13(a, b, c-1)の拡大図である。この例では $m=2$ のMPS-SSFBGを作製したため、グレーティングの間に与える位相シフト量は $\phi_k=0, \pi, 0, \pi, 0, \pi, 0, \pi, \dots$ となる。 $\pi$ の位相シフトを完全に与える前、つまり途中過程であり、 $\phi_k=0, \pi/2, 0, \pi/2, 0, \pi/2, 0, \pi/2, \dots$ の位相シフトを与えた状態の反射スペクトルを図13(b-1, 2)に示す。元々のチャンネルの間に新しいチャンネルが成長していく様子がわかる。最終的に設計した位相シフトを完全に与えた際の反射スペクトルを図13(c-1, 2)に示す。図13(a-1, 2)と比較すると、チャンネル間隔が半分になり、設計どおりの反射スペクトルが得られていることがわかる。

【0042】図14に、MPS-SSFBGの作製( $m=3$ )の説明図を示す。これは、図12(c)に対応する場合である。まず、通常のSSFBGの作製方法に従って作製した、位相シフトを与える前のSSFBGの反射スペクトルを図14(a)に示す。この例では $m=3$ のMPS-SSFBGを作製したため、グレーティングの間に与える位相シフト量は $\phi_k=0, 2\pi/3, 4\pi/3, 0, 2\pi/3, 4\pi/3, 0, \dots$ となる。最終的に設計した位相シフトを完全に与えた際の反射スペクトルを図13(b)に示す。図13(a)と比較すると、チャンネル間隔が $1/3$ になり、設計どおりの反射スペクトルが得られていることがわかる。

【0043】このMPS-SSFBGを用いると、チャンネル数を数倍に増やして高密度化することができる。しかも、光ファイバーと位相マスクを有効に使用できた



め、作製のコストダウンにもつながる。最近の微細加工技術の向上により位相マスクに位相シフトを精密に与えることが可能となっている。したがって、MPS-SSFBGを作る際に与える位相シフトを位相マスク自体に与えることで、短い位相マスクでも高密度化な光ファイバークリ型反射フィルタを作製することもできる。

【0044】以上の説明では、所望の位相シフトを光ファイバに与えるために、光スペクトラムアナライザを観察しながら、レーザ出力を調整するようにしていた。これを自動的にコンピュータにより実行させることも可能である。

【0045】図15に、作製装置の他の構成図を示す。これは、上述の実施の形態の作製装置の構成に、さらに、制御部30と照射調整部40とを備え、稼働ステージ4を位相マスク用稼働ステージ4-1及び光ファイバ用稼働ステージ4-2に置換えたものである。

【0046】制御部30は、光スペクトラムアナライザ5の測定結果を内部のインタフェースを介して入力する。入力された波長に対する反射率に基づき、レーザ1の出力時間、パルスエネルギー、繰返し周波数、ビームサイズ等のいずれか又は複数を調整する。さらに、制御部30は、所定の位置にレーザ1の紫外光を照射するように照射調整部40を制御することができる。さらに、制御部30は、稼働ステージ4-1及び4-2を移動制御することで、位相マスク3と光ファイバ10の相対位置を制御することが可能である。また、光ファイバ10を固定する制御を行なうことも可能である。このような構成により、所定の位置への位相マスクの移動、位相シフト量調整、レーザ照射の調整等が制御される。

【0047】つぎに、本発明の応用について、以下に例示する。例えば、本発明は、光多重通信における、多波長フィルタ、分波・合波、WDM通信用のADM(add/drop multiplexer)光増幅器の利得均一化、分散補償フィルタ、利得等化器などに応用可能である。また、本発明は、光通信用光源としては、多波長光源用フィルタ、半導体レーザ、ファイバレーザなどのレーザの波長選択、波長安定化、波長一括分散保証に応用できる。さらに、本発明は、ファイバセンサとしては、ひずみ等を測定するなど、多くの応用が考えられている。

【0048】

【発明の効果】本発明によると、以上のように、位相マスク長により制限されないスーパーストラクチャー・ファイバ・ブラッグ・グレーティング作製方法及び作製装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】位相マスク法によるFBGの作製についての説明図。

【図2】SSFBGの作製系の構成図。

【図3】伝送マスクと光ファイバとの固定についての説明図。

【図4】SSFBGの概念図。

【図5】SSFBGの特性図。

【図6】位相マスクの走査によるSSFBG作製法の説明図。

【図7】SSFBGに特性図。

【図8】位相整合のための紫外光照射前と後の反射スペクトル図。

【図9】SSFBGの反射スペクトル図。

【図10】Chirped-SSFBGの作製方法の説明図。

【図11】MPS-SSFBGにおける光ファイバ軸方向の屈折率と位相シフトの説明図。

【図12】SSFBGとMPS-SSFBGとの比較に関する説明図。

【図13】MPS-SSFBGの作製 ( $m=2$ ) の説明図。

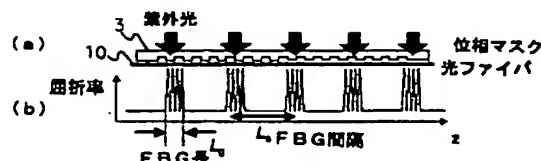
【図14】MPS-SSFBGの作製 ( $m=3$ ) の説明図。

【図15】作製装置の他の構成図。

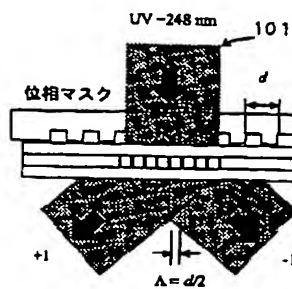
【符号の説明】

1	レーザ
2	スリット
3	位相マスク
4	稼働ステージ
5	光スペクトラムアナライザ
6	EDFA
7	サーキュレータ
10	光ファイバ

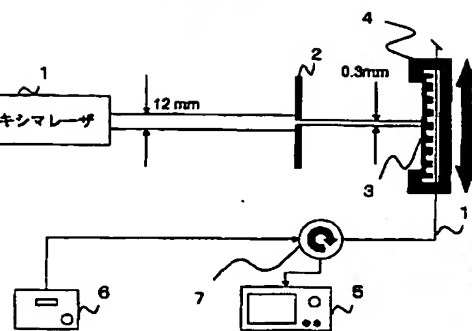
【図4】



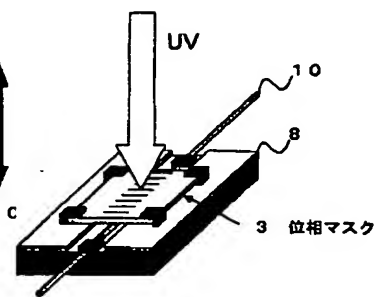
【図 1】



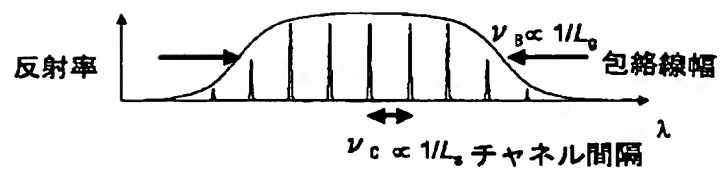
【図 2】



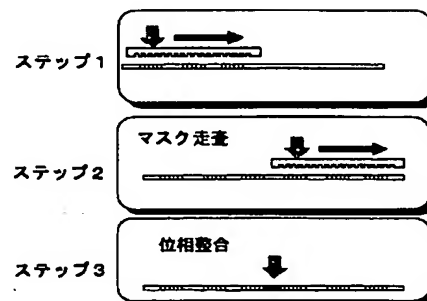
【図 3】



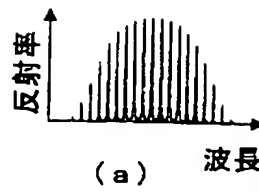
【図 5】



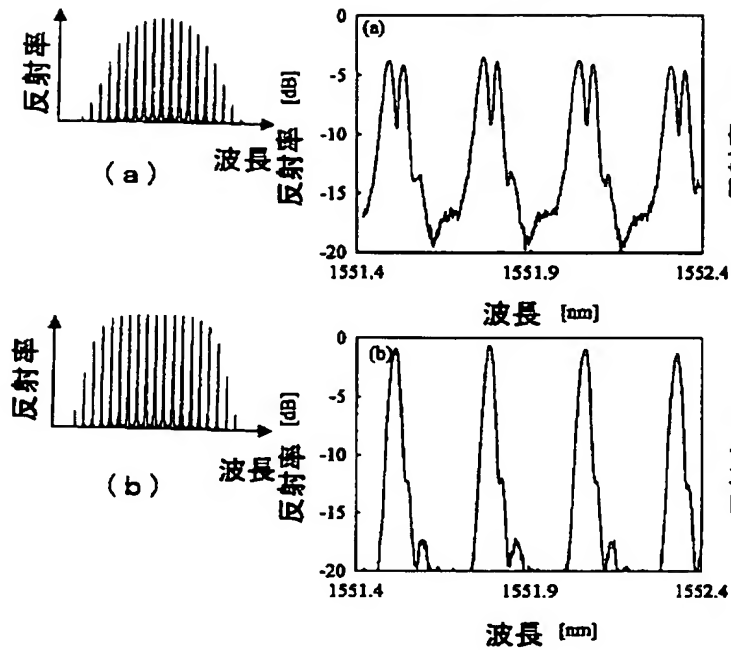
【図 6】



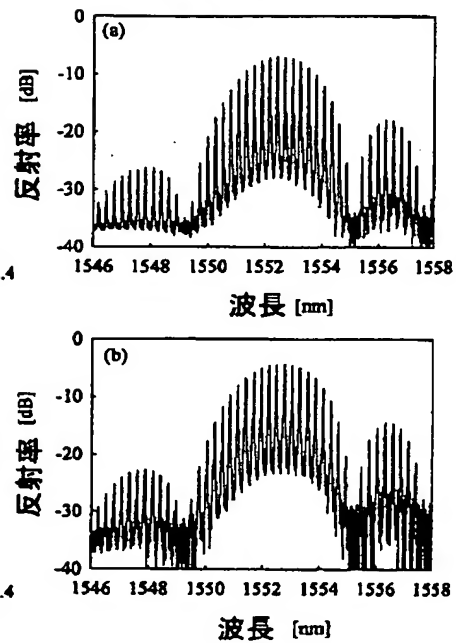
【図 7】



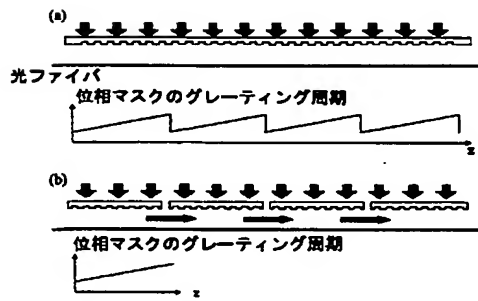
【図 8】



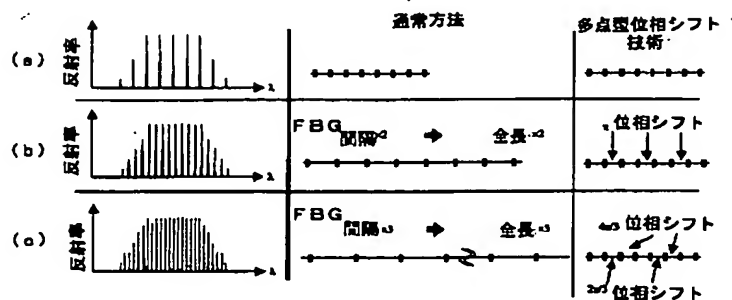
【図 9】



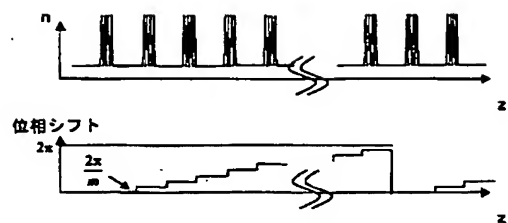
【図 10】



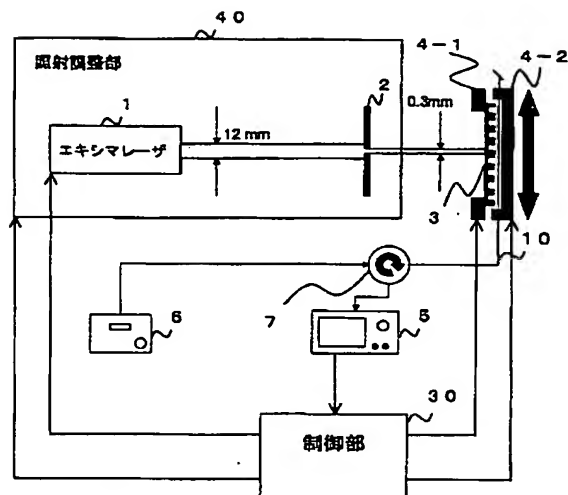
【図 12】



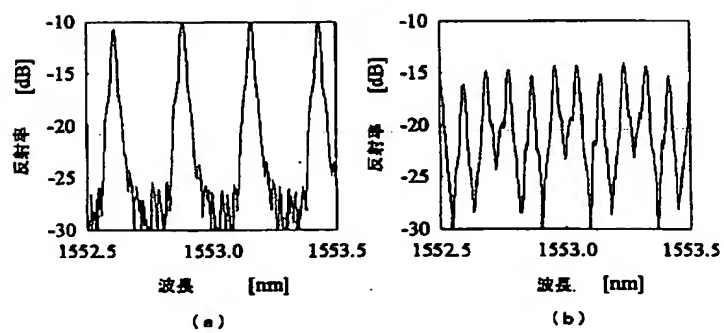
【図11】



【図15】



【図14】



【図 13】

